

**Resposta da Soja à Adubação
Fosfatada e Potássica em Latossolo
Amarelo da Amazônia Oriental**



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Amazônia Oriental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 72

Resposta da Soja à Adubação Fosfatada e Potássica em Latossolo Amarelo da Amazônia Oriental

*Carlos Alberto Costa Veloso
Jamil Chaar El-Husny
Eduardo Jorge Maklouf Carvalho
Francisco Ronaldo Sarmanho de Souza*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Amazônia Oriental

Tv. Dr. Enéas Pinheiro, s/n.
Caixa Postal 48. CEP 66095-100 - Belém, PA.
Fone: (91) 3204-1000
Fax: (91) 3276-9845
www.cpatu.embrapa.br
sac@cpatu.embrapa.br

Comitê Local de Editoração

Presidente: *Moacyr Bernardino Dias-Filho*
Secretário-Executivo: *Walkymário de Paulo Lemos*
Membros: *Ana Carolina Martins de Queiroz, Célia Regina Tremacoldi,*
Luciane Chedid Melo Borges,

Revisão Técnica: *Salatiér Buzetti* – Unesp

Supervisão editorial e revisão de texto: *Luciane Chedid M. Borges*
Normalização bibliográfica: *Andréa Liliane Pereira da Silva*
Editoração eletrônica: *Orlando Cerdeira Bordallo Neto*
Foto da capa: *Carlos Alberto Costa Veloso*

1ª edição

Versão Eletrônica (2009)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Amazônia Oriental

Resposta da soja à adubação fosfatada e potássica em latossolo amarelo da Amazônia Oriental / Carlos Alberto Costa Veloso... [et al.]. – Belém, PA : Embrapa Amazônia Oriental, 2009.

28p. : il.; 21cm. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Amazônia Oriental, ISSN 1983-0483; 72)

1. Soja. 2. Adubação - fósforo. 3. Adubação - potássio. 4. Solo - Amazônia. I. Veloso, Carlos Alberto Costa. II. Série.

CDD 636.213

© Embrapa 2009

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e Métodos.....	12
Resultados e Discussão	16
Conclusão	25
Referências	26

Resposta da Soja à Adubação Fosfatada e Potássica em Latossolo Amarelo da Amazônia Oriental

Carlos Alberto Costa Veloso¹

Jamil Chaar El-Husny²

Eduardo Jorge Maklouf Carvalho³

Francisco Ronaldo Sarmanho de Souza⁴

Resumo

A pesquisa foi conduzida com o objetivo de verificar em condições de campo os efeitos isolados e combinados da adubação com fósforo e potássio na produção de grãos de soja nos municípios de Paragominas e Belterra, PA. Os experimentos foram conduzidos no campo experimental da Embrapa Amazônia Oriental. Foi usada a cultivar Sambaíba como planta indicadora com espaçamento de 50 cm entre fileiras, com a densidade de 20 sementes/metro, num delineamento de blocos ao acaso com os tratamentos dispostos num esquema fatorial 4 x 4, com quatro repetições, correspondendo a doses de fósforo (0, 80, 160, 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅), na forma de superfosfato simples e quatro doses de potássio (0, 60, 120, 180 kg ha⁻¹ de K₂O), na forma de cloreto de potássio.

¹ Eng. Agrôn., Doutor em Agronomia, Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA. veloso@cpatu.embrapa.br

² Eng. Agrôn., Mestre em Fitotecnica, Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA. jamil@cpatu.embrapa.br

³ Eng. Agrôn., Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA. maklouf@cpatu.embrapa.br

⁴ Eng. Agrôn., Mestre em Genética de Melhoramento de Plantas, Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA. sarmanho@cpatu.embrapa.br

A calagem foi realizada para elevação da saturação por bases a 60 %, sendo realizada 60 dias de antecedência da semeadura. A adubação fosfatada foi realizada de uma única vez no sulco da semeadura. A adubação potássica foi parcelada em duas vezes, 1/3 na semeadura, 2/3 em cobertura na época do florescimento, de acordo com os tratamentos. Foi avaliada a produtividade, altura das plantas, massa de 100 grãos e inserção do primeiro legume, além das análises químicas do solo e da planta. A aplicação anual de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O foi suficiente para atender à demanda da cultura da soja e manter os teores de fósforo e potássio no solo próximos do nível crítico.

Termos para indexação: *Glycine max*, concentração, nutrição mineral, nutrientes, fósforo, potássio.

Soybean Response to Phosphorus and Potassium Fertilization in an Eastern Amazonian Yellow Latosol

Abstract

The present research was carried out in order to establish response curves of soybean to phosphorus and potassium. The experiments were conducted at Embrapa Amazônia Oriental experimental fields, in Paragominas and Belterra counties using soybean, Sambaiba cultivar cropped in representative soil type, for each area. Soil analysis were performed prior to the experiment installatio, sampling layers from 0 to 20 cm depth, for physical and chemical characterization. The experimental design was a randomized blocks with four replications, with the treatments arranged in a 4 x 4 factorial design, corresponding to four phosphorus levels (0, 80, 160 and 240 kg ha⁻¹ P₂O₅) using simple superphosphate as P source and four potassium levels (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹ K₂O) as potassium chloride were tested. Phosphorus fertilizer was applied once in planting furrow while potassium was split in two dosis, one third applied at time of planting and two third in coverage, 30 days after emergency. The fertilizer effects were recordes as plant height first legume insert, fall, 100 seed weight, and chemical analysis at soil and plants. Data obtained were analysis by ANOVA and regression analyses. The results obtained have shown that the annual application of 80 kg ha⁻¹ P₂O₅ and 60 kg ha⁻¹ K₂O was enough to keep a good

growth and yield at about 90 % of maximum productivity and to maintain the critical level phosphorus and potassium in the soil.

Index terms: Glycine max, concentration, mineral nutrition, nutrients, phosphorus and potassium.

Introdução

O Brasil, atualmente, é o segundo maior produtor mundial de soja [*Glycine max* (L) Merrill], sendo esta cultura uma das mais importantes como geradora de divisas do País. O plantio da soja iniciou-se nas regiões Sul e Sudeste do Brasil que, além de possuírem condições edafoclimáticas favoráveis ao desenvolvimento da cultura, estavam mais próximas dos portos de embarque do produto para fins de exportação. Porém, com a obtenção de genótipos produtivos e com capacidade de adaptação aos diferentes ambientes, o cultivo da soja no Brasil vem se expandindo nas baixas latitudes, principalmente, nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste.

No Estado do Pará, a área plantada com a cultura vem crescendo, principalmente nas regiões sul, sudeste, nordeste e oeste paraense. As pesquisas com fertilidade do solo e nutrição mineral da soja são poucas e as recomendações técnicas são adaptadas de informações obtidas em outras regiões.

Os solos que predominam nessas regiões são: Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelhos Amarelos, Latossolos Vermelhos, com textura variando de média, argilosa e muito argilosa, além de Argissolos Amarelos, Argissolos Vermelhos Amarelos de textura média/argilosa e argilosa/muito argilosa, todos profundos e distróficos, sob vegetação originalmente de floresta, na maioria, são ácidos e, como principal consequência, pode ocorrer alumínio em quantidades tóxicas para a cultura da soja. Desse modo, a aplicação de calcário é imprescindível para elevar o pH e neutralizar o alumínio do solo e fornecer cálcio e magnésio às plantas.

Os principais problemas de natureza química que ocorrem nesses solos são a deficiência de P, K, S, Ca, Mg, Zn, fixação de P, elevada toxicidade

de alumínio e baixa CTC. Por outro lado, conforme Dematê e Dematê (1996), a saturação por alumínio, no complexo de troca da grande maioria dos solos, ultrapassa os 50 %, considerado teor tóxico para a maioria das culturas, e a soma de bases trocáveis encontra-se abaixo dos valores considerados críticos, o que, aliado à carência dos demais nutrientes, representa um grande entrave para o desenvolvimento adequado do sistema radicular das culturas.

Outra limitação à produção de soja nesses solos é a baixa disponibilidade de fósforo e potássio e a alta capacidade de retenção de fósforo. Por isso, a prática da adubação fosfatada e potássica é indispensável para a obtenção de alta produtividade, segundo Sousa (1984).

A absorção de nutrientes pela soja é influenciada por diversos fatores, entre eles as condições climáticas, como a chuva e a temperatura, as diferenças genéticas entre as variedades, o teor de nutrientes no solo e os diversos tratamentos culturais. Contudo, é possível estimar as quantidades médias de nutrientes que estão presentes nos restos culturais e nos grãos da soja para cada tonelada de produção de grãos.

A soja é considerada por Sfredo et al. (1986) uma cultura anual muito exigente em todos os macronutrientes essenciais. Para suprir adequadamente as necessidades crescentes da produtividade por meio da calagem e da adubação, é importante conhecer as quantidades absorvidas e exportadas de nutrientes pela cultura, a fim de não provocar o aparecimento de fator limitante por falta, nem por desequilíbrio nutricional. Se a fertilidade do solo estiver em nível satisfatório, deve-se estabelecer a adubação que possibilite manter estável o rendimento ao longo dos cultivos (TANAKA et al., 1993).

Uma vez corrigidas as limitações nutricionais, esses solos podem se tornar tão produtivos quanto aqueles que apresentam características de fer-

tilidade e acidez naturalmente favoráveis à cultura, tornando possível o aproveitamento das áreas já desmatadas, com aumento da produtividade, sem promover a degradação do solo e preservando a floresta nativa.

A expansão da cultura da soja nas regiões de baixas latitudes do Brasil requer estudos para estabelecer tecnologias e manejo adequado para seu cultivo. As recomendações de adubação devem ser relacionadas com as análises de solos e a resposta da variedade utilizada no cultivo, visando à obtenção do máximo retorno por área, de tal maneira a atingir o retorno econômico máximo (SFREDO et al., 1994).

Um dos nutrientes mais importantes para a produção de grãos na região dos cerrados é o P, em virtude da baixa disponibilidade desse nutriente em condições naturais. Portanto, é indispensável a prática da adubação fosfatada para obtenção de produção satisfatória para a cultura da soja (SOUSA et al., 1987).

Oliveira et al. (1992), ao estudarem o efeito de adubação fosfatada na nodulação e no rendimento da soja num Latossolo Amarelo da região Amazônica, mostraram que o fósforo no solo aumentou de três para 16 mg.kg⁻¹ quando foram aplicados 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na soja. A produção da soja, nos mesmos tratamentos, aumentou de 239 kg ha⁻¹ para 2.348 kg ha⁻¹ de grãos, e o teor de fósforo na planta aumentou de 1,8 kg⁻¹ a 3,0 kg⁻¹.

Por outro lado, a resposta da cultura da soja à adubação potássica é muito grande. Sousa (1984) observou que, em Latossolo Escuro argiloso do cerrado, o simples aumento de 24 mg.kg⁻¹ para 45 mg.kg⁻¹ de K aumentou a produtividade de grãos. O mesmo autor considera como nível de suficiência, neste tipo de solo, 50 mg.kg⁻¹ de K, enquanto o nível de suficiência de potássio para solos mais arenosos é de 30 mg.kg⁻¹ de solo.

O presente trabalho teve como objetivo verificar em condições de campo os efeitos isolados e combinados da adubação com fósforo e potássio na produção de grãos de soja nos municípios de Paragominas e Belterra, PA.

Material e Métodos

O experimento foi instalado em condições de campo, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003, no campo experimental da Embrapa Amazônia Oriental nos municípios de Paragominas, localizado na mesorregião do Nordeste Paraense, e Belterra, localizado na mesorregião do Oeste Paraense, áreas consideradas representativas para o cultivo de grãos no Estado do Pará.

Os solos são classificados, em sua maioria, no grupo Latossolo Amarelo, textura argilosa e muito argilosa, com boas propriedades físicas e baixa concentração de alumínio (RODRIGUES et al., 1999).

O Município de Paragominas, segundo a classificação de Köppen, apresenta clima do tipo Aw. A temperatura média anual é de 26,3 °C, a umidade relativa do ar média, 81 %, e a precipitação pluviométrica anual, 1.800 mm. O local do experimento apresenta as seguintes coordenadas geográficas: Latitude 02°57 ' 24" S, Longitude 47°31' 36" W e altitude média de 85 m.

Já o Município de Belterra apresenta as seguintes coordenadas geográficas: Latitude 02°38' S, Longitude 54°57' W e altitude média de 175 m. Segundo a classificação de Köppen, apresenta clima do tipo Ami, temperatura média anual de 26 °C, umidade relativa do ar média de 80 % e precipitação pluviométrica anual de 1.900 mm (BASTOS, 1972), correspondendo a dois períodos: um chuvoso, que compreende os meses de dezembro a junho, e outro menos chuvoso, que abrange os meses de julho a novembro (Figura 1).

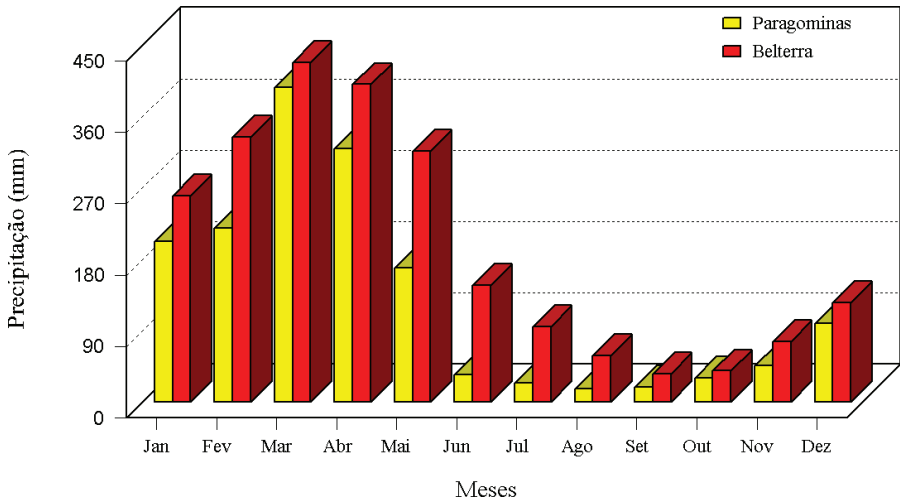


Figura 1. Valores mensais das precipitações pluviométricas ocorridas nos municípios de Paragominas e Belterra. Média de 21 anos, relativa ao período de 1983 a 2003.

As amostras de solo para determinação das análises químicas e físicas foram coletadas antes da instalação dos experimentos na camada de 0 cm a 20 cm de profundidade.

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental, segundo metodologia adotada pela Claessen (1997), realizando as determinações de pH (H_2O), C, P, K, Ca, Mg, Al, H + Al e, com base nesses resultados, calculou-se a soma das bases, a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases (V%). Os resultados das análises químicas e físicas do solo encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e físicas da área experimental antes da instalação do experimento ⁽¹⁾.

Características químicas	Paragominas	Belterra
pH (H ₂ O)	5,2	4,1
Al ³⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	0,1	1,0
H+ Al ³⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	3,91	6,5
P (Melich) mg. dm ⁻³	2,5	4,0
K ⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	0,13	0,11
Ca ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	2,9	1,5
Mg ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	0,5	0,3
SB (cmol _c .dm ⁻³)	3,53	1,91
CTC (cmol _c .dm ⁻³)	7,44	8,4
V (%)	47,4	22,7
M. Orgânica (g. kg ⁻¹)	32	40
Características físicas		
Areia (g. kg ⁻¹)	300	200
Silte (g. kg ⁻¹)	100	220
Argila total (g. kg ⁻¹)	600	580

⁽¹⁾ Análises realizadas no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental.

A determinação granulométrica foi feita por meio do método da pipeta, utilizando-se NaOH a 5 % como dispersante, seguindo a metodologia descrita por Claessen (1997).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial, 4 x 4, correspondendo a quatro doses de fósforo e quatro doses de potássio. Os tratamentos corresponderam às doses de fósforo (0; 80; 160 e 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅) na forma de superfosfato simples e às doses de potássio (0; 60; 120 e 180 kg ha⁻¹ de K₂O) na forma de cloreto de potássio. A parcela experimental foi composta de quatro fileiras de 5 m

de comprimento e 2 m de largura, correspondendo a uma área total de 10 m². Na colheita, foram eliminadas as duas fileiras laterais e 50 cm nas extremidades das fileiras a título de bordadura, correspondendo à área útil de 4 m².

Foi utilizada a cultivar Sambaíba como indicadora, uma vez que a mesma associa alto nível de produtividade e adaptabilidade ampla, além de evidenciar alta previsibilidade de comportamento, favorecendo o cultivo no Pará e no Maranhão (EL-HUSNY et al., 1998, 2001), com espaçamento de 50 cm entre fileiras, com densidade de 20 sementes/metro. A necessidade de calagem foi baseada na elevação da saturação por bases de acordo com Raij et al. (1996), tendo sido realizada 60 dias antes da semeadura. Utilizou-se calcário dolomítico com PRNT 90 %, visando aumentar a saturação por base ao valor de 60 %.

A adubação fosfatada foi realizada de uma única vez no sulco da semeadura e a potássica foi parcelada em duas vezes: 1/3 no plantio e 2/3 em cobertura 30 dias após a emergência, ou seja, no início do florescimento de acordo com os tratamentos.

Foi avaliada a produtividade (massa de 100 sementes, massa de grãos em kg/parcela, produtividade em kg ha⁻¹), altura da planta, inserção do primeiro legume, grau de acamamento, grau de deiscência da vagem, número de dias de florescimento, umidade de grãos na época da colheita e anotações de aparecimento de pragas e doenças, além das análises químicas da planta (coletaram-se em plantas a terceira e quarta folhas trifolioladas com pecíolo no início do florescimento).

As análises de plantas também foram realizadas no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental. As amostras do material colhido foram digeridas em ácido nítrico e perclórico concentrados, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1989). Foram determinados

os seguintes nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn. Para determinação de N, foi feita a digestão por oxidação sulfúrica de 200 mg de matéria seca, com destilação em aparelho microkjeldahl e titulação com H_2SO_4 0,01N. O P, por colorimetria de molibdato – vanadato; o K, por fotometria de chama, e o Ca e o Mg, por espectrofotometria de absorção atômica, segundo metodologia descrita por Sarruge e Haag (1974). O Cu, Fe, Mn e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica.

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística por meio do programa estatístico Statistical Analysis System (SAS), utilizando-se os módulos GLM, ANOVA E REG (SAS INSTITUTE, 1993). Foram ajustadas equações de regressão para todas as variáveis estudadas, sob doses de P_2O_5 e K_2O . A determinação dos efeitos foi obtida por meio de análise de variância e a significância dos efeitos por meio de teste F, no nível de significância de 5 % (GOMES, 1987). Dada a significância dos efeitos, os desdobramentos foram efetuados sob a forma de ajustes lineares e quadráticos, bem como no caso da interação com ajuste do modelo de superfície de resposta linear ou quadrática. A partir desses modelos, foram definidos os valores de doses ótimas ou adequadas.

Resultados e Discussão

Na Tabela 2, são apresentados os efeitos significativos nas variáveis de crescimento e de produtividade. Observa-se que a altura das plantas e a massa de 100 sementes foram influenciadas pela aplicação das doses de fósforo, sob as formas linear e quadrática, enquanto a produtividade de grãos foi influenciada positivamente pelas doses de fósforo e potássio nos municípios de Paragominas e Belterra.

Tabela 2. Valores de quadrados médios do modelo de análise da variância para os indicadores de crescimento e produtividade da soja para os municípios de Belterra e Paragominas.

F.V.	G.L.	Altura		Produtividade	
		Planta	1º legume	Massa de 100 grãos	Produtividade de Grãos
Local	1	$1,80.10^{-2} **$	$8,32.10^{-4}$	3136,03 **	4.334.343,83 **
P	1	$1,47.10^{-2} *$	$2,55.10^{-4}$	7,88 *	2.763.897,77 **
P x P	1	$2,03.10^{-2} *$	$1,32.10^{-4}$	11,45 *	3.230.402,28 **
K	1	$8,03.10^{-3}$	$6,70.10^{-6}$	1,66	3.845.011,33 **
K x K	1	$1,18.10^{-2}$	$6,90.10^{-5}$	3,09	4.500.103,74 **
P x K	1	$9,79.10^{-4}$	$1,95.10^{-4}$	0,87	1.868,11
Resíduo	121	$3,28.10^{-3}$	$4,74.10^{-4}$	2,62	283.213,07

*Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

Observa-se que a altura das plantas, a inserção do primeiro legume e a massa de 100 grãos não foram influenciadas pela aplicação dos tratamentos utilizados. Ocorreram efeitos significativos na produtividade de grãos da soja em relação à testemunha nos dois locais estudados: Paragominas e Belterra.

Nas Tabelas 3 e 4, são apresentados os efeitos da aplicação da adubação fosfatada e potássica na produtividade de grãos de soja. Verifica-se que a adubação fosfatada aumentou significativamente a produção de grãos, com pontos de máxima produção na dose próxima a 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 , nos 2 anos de cultivo. Quanto ao potássio, a dose que proporcionou produção máxima foi de 60 kg ha^{-1} de K_2O . Eram esperadas respostas positivas à aplicação de fósforo, pois o teor deste nutriente no solo era baixo em ambos os locais, enquanto o teor de potássio no solo em ambos os locais era considerado médio.

Tabela 3. Produtividade de grãos de soja da cultivar Sambaíba sob doses de P_2O_5 e K_2O em Latossolo Amarelo de Paragominas, PA (média de 2 anos de cultivo).

K ₂ O (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				Média
	0	80	160	240	
kg ha ⁻¹					
0	3.013 bC	3.894 bB	3.792 bB	4.032 aA	3.683
60	4.073 aB	4.245 aA	4.441 aA	4.156 aB	4.229
120	4.003 bA	4.066 aB	4.318 aA	4.365 aA	4.188
180	3.231 bC	4.128 aB	4.419 aA	4.081 aB	3.965
Média	3.580	4.083	4.243	4.159	4.017

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não apresentam diferenças significativas no nível de 5 %, pelo teste de Tukey.

Sousa et al. (1987) estabeleceram como nível crítico de fósforo, para solos de cerrado com teor de argila entre 21 % e 40 %, 14 ppm de fósforo e, como baixo, o nível de 5,1 ppm a 10 ppm de fósforo. Os mesmos autores recomendam para a região do cerrado 20 kg de P_2O_5 como adubação de manutenção, para cada 1.000 kg de grãos produzidos.

Oliveira et al. (1992), ao estudarem o efeito de adubação fosfatada na nodulação e rendimento da soja num Latossolo Amarelo da região Amazônica, mostraram que o fósforo no solo aumentou de três para 16 mg/kg quando foram aplicados 150 kg ha⁻¹ de P_2O_5 na soja. A produção da soja nos mesmos tratamentos aumentou de 239 kg ha⁻¹ para 2.348 kg ha⁻¹ de grãos e o teor de fósforo na planta aumentou de 1,8 g kg⁻¹ a 3,0 g kg⁻¹.

Tabela 4. Produtividade de grãos de soja da cultivar Sambaíba sob doses de P_2O_5 e K_2O em Latossolo Amarelo de Belterra, PA (média de 2 anos de cultivo).

K ₂ O (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				Média
	0	80	160	240	
kg ha ⁻¹					
0	2.555 cC	3.608 bA	3.672 bA	3.257 dB	3.273
60	3.356 bC	3.807 aA	3.943 aA	3.588 cB	3.674
120	3.608 aD	3.864 aC	4.649 aA	4.385 aB	4.127
180	3.568 aC	3.798 aB	3.765 bB	4.054 bA	3.796
Média	3.272	3.769	4.007	3.821	3.718

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não apresentam diferenças significativas no nível de 5 %, pelo teste de Tukey.

Lobato (1982) observou grande incremento na produção de soja até a dose de 300 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , aplicado a lanço, em Latossolo Vermelho Amarelo argiloso, com teor de fósforo menor que 1 mg.dm⁻³ de solo, sem ter calculado a dose econômica. Em Argissolo Vermelho Amarelo do Cerrado do Estado do Maranhão, Sfredo et al. (1994) verificaram grande resposta ao fósforo, com pontos de máxima produção de 2.600 kg ha⁻¹ de grãos de soja, na dose próxima de 200 kg ha⁻¹ de P_2O_5 e na dose econômica de 150 kg ha⁻¹ de P_2O_5 .

Nas Figuras 2 e 3, observa-se que os resultados de produtividade de grãos de soja da cultivar Sambaíba, obtidos nos municípios de Paragominas e Belterra, apresentaram, estatisticamente, respostas significativas para as adubações fosfatada e potássica, mostrando que, para essas condições de solo dos referidos municípios, a cultura da soja responde às adubações com fósforo e potássio.

Na Figura 2a, observa-se um comportamento quadrático da resposta da produção de grãos sob dosagens de adubações fosfatadas para o Município de Paragominas, com resposta positiva, apresentando um ligeiro acréscimo até a dosagem de 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

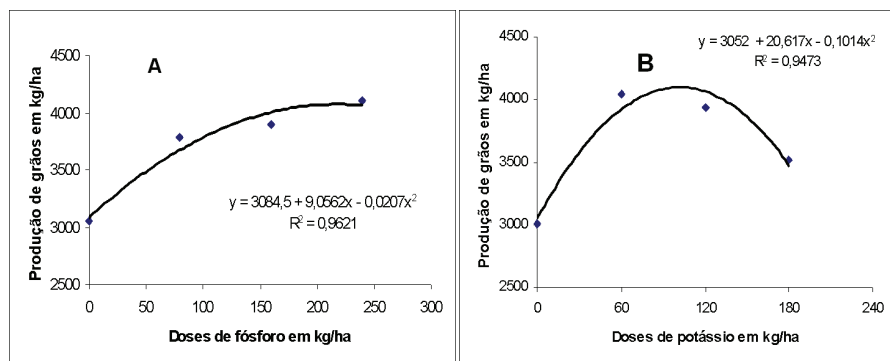


Figura 2. Efeito das doses de fósforo na produção de soja (a) e de potássio na produção de soja (b) no Município de Paragominas, PA.

Com relação às adubações potássicas com as doses de 60 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹ de K₂O, ocorreram melhores resultados comparados com a dosagem máxima. Houve resposta positiva na produção de grãos até a dose de 120 kg ha⁻¹ de K₂O no Município de Paragominas. Com o aumento das concentrações do potássio no solo, houve uma redução significativa na produção de grãos (Figura 2b).

Na Figura 3a, observa-se comportamento quadrático da resposta da produção de grãos sob dosagens de adubações fosfatadas para o Município de Belterra, com resposta positiva, apresentando, entretanto, um ligeiro decréscimo com a dosagem de 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Os resultados deste trabalho confirmam recomendações de outros pesquisadores quanto a solos de Cerrado, em que há resposta ao fósforo logo no primeiro ano de cultivo, em solos com baixo teor desse nutriente. Já em relação ao potássio, há falta de resposta econômica à sua

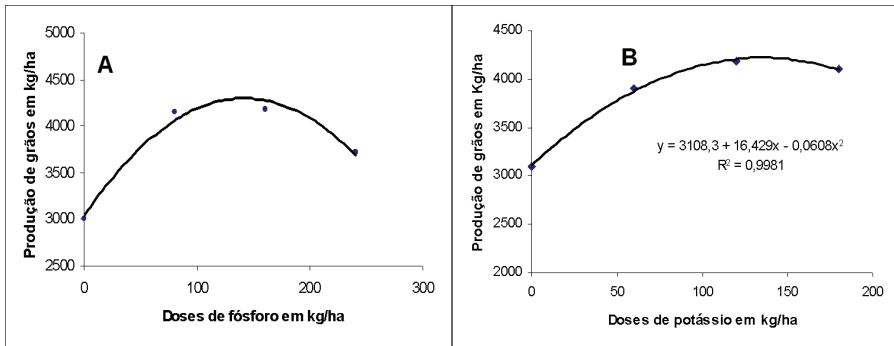


Figura 3. Efeito das doses de fósforo na produção de soja (a) e de potássio na produção de soja (b) no Município de Belterra, PA.

aplicação em solos com teores acima de $0,12 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ de K, sugerindo 60 kg ha^{-1} de K_2O como adubação de manutenção (EMBRAPA SOJA, 2000). Borkert et al. (1993) recomendam de 90 kg. ha^{-1} a 100 kg. ha^{-1} de P_2O_5 quando o teor de fósforo for baixo.

A produtividade da soja foi influenciada tanto pelo fósforo quanto pelo potássio, sob as formas linear e quadrática; entretanto, não o foi quanto ao seu produto cruzado (Tabelas 3 e 4). Neste trabalho, a aplicação anual de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} de K_2O foi suficiente para atender à demanda da cultura da soja e manter os teores de fósforo e potássio no solo próximos do nível crítico.

Lins et al. (1989) definiram que para solos de cerrado com o teor muito baixo em fósforo ($3,6 \text{ mg dm}^{-3}$) a dose que otimiza a produção de soja é de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o que confirma a recomendação de 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Sousa et al. (1987) recomendam como adubação de correção 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 para o primeiro ano e, como adubação de manutenção, 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 para o cultivo da soja.

Oliveira et al. (1992) relatam que houve aumento de produção de soja no primeiro ano com a aplicação de 60 kg ha^{-1} de K_2O , a lanço ou em sulco, metade no plantio e metade em cobertura. Os maiores rendimentos da soja estiveram associados a teores de potássio nas folhas, iguais ou superiores a 1,31 %, além de aumentarem significativamente a resistência da planta às pragas e doenças, evidenciando, assim, a importância do potássio para o cultivo da soja. Dessa forma, a quantidade média de adubo potássico a ser aplicada anualmente na soja corresponde a 60 kg ha^{-1} de K_2O . Essa quantidade de adubo é suficiente para alcançar uma produtividade média de grãos de 3.000 kg ha^{-1} , tomando como base uma retirada média de $21,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O para cada tonelada de grãos colhida (MASCARENHAS et al., 1980).

Com relação ao peso de 100 sementes, apresentou padrão oposto, indicando em Paragominas ($32,35 \text{ g} \pm 0,285 \text{ g}$) um peso maior de sementes do que em Belterra ($18,36 \pm 0,043 \text{ g}$). Os ajustes aplicados assinalaram um ponto de máxima concordância em ambos os locais, situado na faixa de 140 kg ha^{-1} a 155 kg ha^{-1} de fósforo, ressaltando-se que a maior necessidade de fósforo observada em Paragominas (155 kg ha^{-1}) apresenta uma resposta muito superior à observada em Belterra (Figuras 2 e 3).

Desse modo, infere-se sobre a condição do ambiente em que os experimentos foram conduzidos, ressaltando-se as condições climáticas, tais como chuvas no período da colheita, ventos fortes, etc., e, ainda, as características do solo.

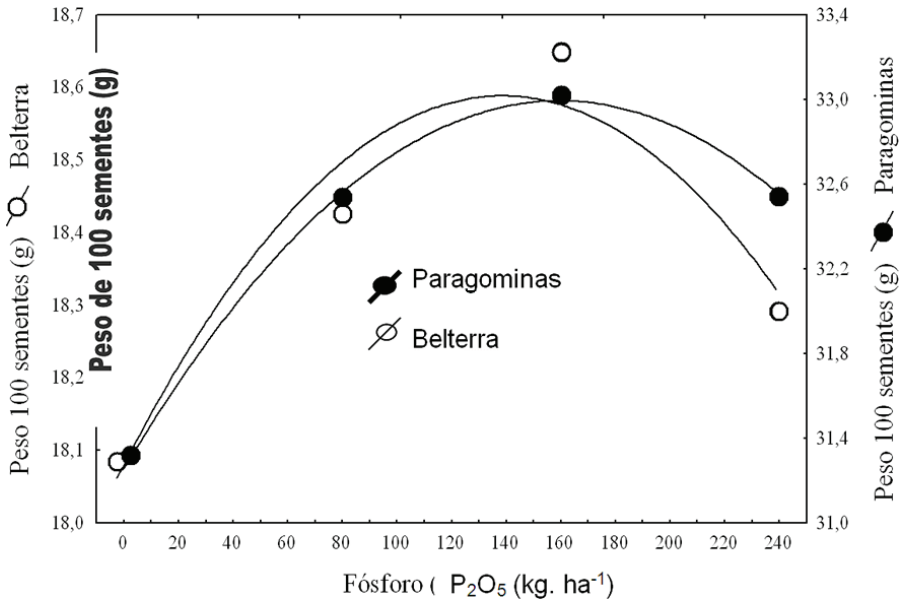


Figura 4. Relação entre doses de fósforo e peso de 100 sementes de soja, de acordo com os locais, ajustados segundo o modelo de regressão quadrática.

A produtividade também apresentou resposta equivalente ao peso de 100 sementes, em que Paragominas ($4.016,22 \text{ kg ha}^{-1}$) apresentou maior produtividade que Belterra ($3.717,22 \text{ kg ha}^{-1}$), conforme (Figura 4).

Avaliando-se os desdobramentos da produção em Paragominas, verificou-se que $\text{Prod} = 3284,335 + 10,82 * K + 7,7706 * P - 0,0534 * K^2 + 0,0011 * K * P - 0,0229 * P^2$ com ($R^2=0,76$) e definiu-se o ponto de máxima produtividade com valor de $4.267,78 \text{ kg ha}^{-1}$, na combinação $P_2O_5 = 164,21 \text{ kg ha}^{-1}$ e $K_2O = 123,27 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 5).

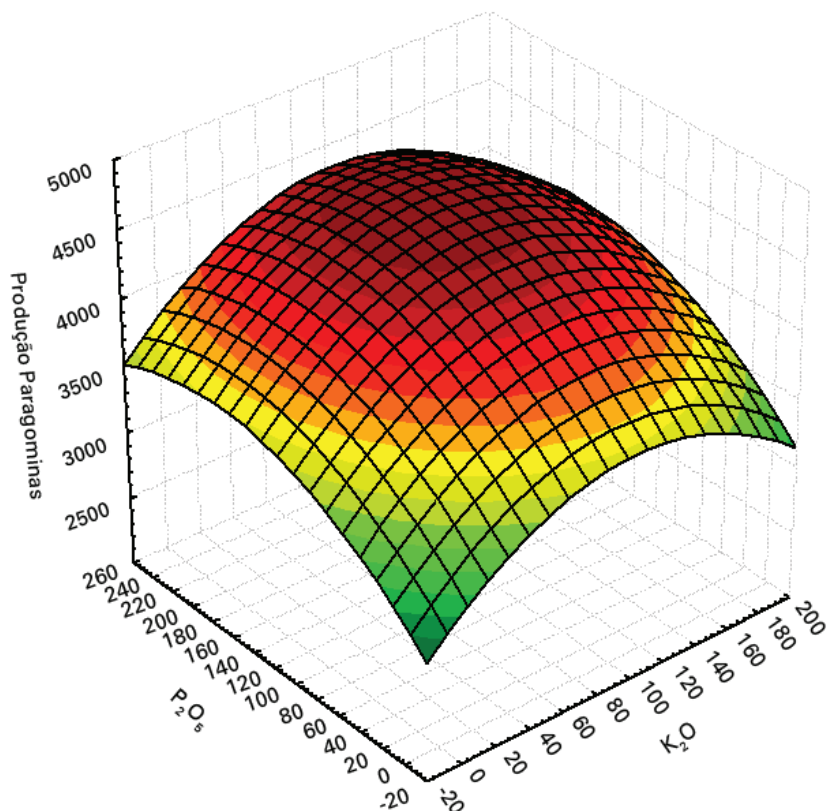


Figura 5. Relação entre a produtividade de soja e as doses de P_2O_5 e K_2O no Município de Paragominas, ajustada segundo o modelo de superfície de resposta quadrática.

Analisando-se os desdobramentos da produção em Belterra, verificou-se que $Prod = 2778,515 + 12,4934 * K + 8,7582 * P - 0,0507 * K^2 + 0,0001 * K * P - 0,0267 * P^2$ com ($R^2=0,77$) e definiu-se o ponto de máxima produtividade com valor de 4.501 kg ha^{-1} , na combinação $P_2O_5=171,96 \text{ kg ha}^{-1}$ e $K_2O=103,12 \text{ kg ha}^{-1}$; (Figura 6).

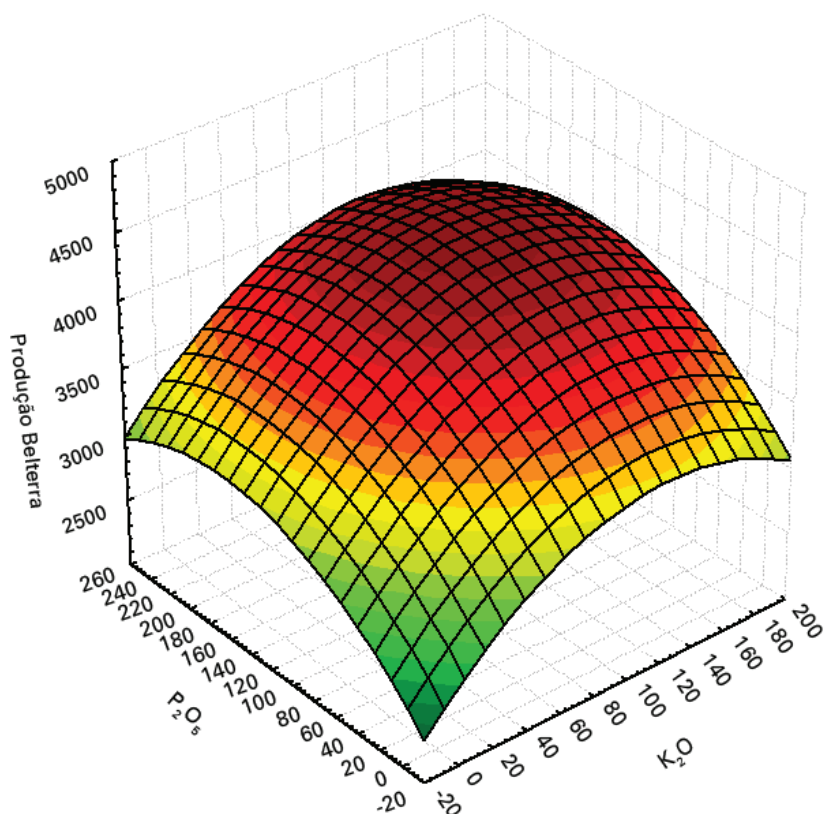


Figura 6. Relação entre a produtividade de soja e as doses de P_2O_5 e K_2O no Município de Belterra, ajustada segundo o modelo de superfície de resposta quadrática

Conclusão

A aplicação de doses de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e de 60 kg ha^{-1} de K_2O no primeiro ano de cultivo foi suficiente para atender à demanda da cultura da soja e manter os teores de fósforo e potássio no solo próximos do nível adequado.

Referências

BASTOS, T. X. **O estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira**. Belém, PA: IPEAN, 1972. p. 68-122. (IPEAN. Boletim técnico, 54).

BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; SILVA, D. N. da. Calibração de potássio trocável para soja em latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 223-226, 1993.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPq. Documentos, 1).

DEMATÊ, J. L. I.; DEMATÊ, J. A. M. Fertilidade e sustentabilidade de solos Amazônicos. In: REUNIAO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRICAÇÃO DE PLANTAS, 22., 1996, Manaus. **Palestras...** Manaus: SBCS, 1996. p.145-214

EL-HUSNY, J. C.; ANDRADE, E. B. de; MEYER, M. C.; ALMEIDA, L. A. de. **Cultivares de soja para microrregião de Paragominas, Pará**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1998. 19 p. (EMBRAPA-CPATU. Circular técnica, 76).

EL-HUSNY, J. C.; ANDRADE, E. B. de; CORRÊA, J. R. V.; KLEPKER, D.; ALMEIDA, L. A. **Comportamento de cultivares de soja em Santarém, Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 28 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Circular técnica, 25).

EMBRAPA SOJA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 2000/01**. Londrina: Embrapa Soja; Cuiabá: Fundação MT, 2000. 245 p. (Embrapa Soja. Documentos, 146).

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 12. ed. Piracicaba: USP, ESALQ; São Paulo: Nobel, 1987. 467 p.

LINS, I. D. G.; COX, F. R.; SOUSA, D. M. G. de. Teste de um modelo matemático para otimizar a adubação fosfatada na cultura da soja em solos sob cerrado com diferentes teores e tipos de argila. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 65-73, 1989.

LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região Centro Oeste. In: LOURENÇO, S.; GORDERERT, W. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília, DF: EMBRAPA-DID, 1982. p. 201-239. (EMBRAPA-DID. Documentos, 21).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201 p.

MASCARENHAS, H. A. A.; NEPTUNE, A. M. L.; MURAOKA, T.; BULISANI, E. A.; HIROCE, R. Absorção de nutrientes por cultivares de soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, p. 92-96, 1980.

OLIVEIRA, J. B. de; SMYTH, T. J.; BONETTI, R. Efeito de adubação anteriores na nodulação e rendimento de soja e do feijão caupy em um latossolo amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 195-201, 1992.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285 p. (IAC. Boletim técnico, 100).

RODRIGUES, T. E.; VALENTE, M. A.; GAMA, J. R. N. F.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; SANTOS, P. L. dos; SILVA, J. L. da. **Zoneamento agroecológico do município de Paragominas, Estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 64 p.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análise química em plantas**. Piracicaba: USP, ESALQ, 1974. 56 p.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT software: syntax**. Cary, 1993. 151 p.

SFREDO, G. J.; PALUDZYSZYN FILHO, E.; GOMES, E. R. Resposta da soja a potássio e a fósforo em podzólico vermelho amarelo de Balsas, MA. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 9, p. 1359-1364, set. 1994.

SFREDO, G. J.; LANTMAN, A. F.; CAMPOS, R. J.; BORKET, C. M. **Soja: nutrição mineral, adubação e calagem**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1986. 51 p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 17).

SOUSA, D. M. G. de. **Calagem e adubação para cultura da soja nos cerrados**. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1984. 9 p. (EMBRAPA-CPAC. Comunicado técnico, 38).

SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N.; LOBATO, E. **Interpretação de análise de terra e recomendação de adubos fosfatados para culturas anuais nos cerrados**. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1987. 7 p. (EMBRAPA-CPAC. Comunicado técnico, 51).

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BORKERT, C. M. Nutrição mineral da soja. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. de M. **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 105-137.



Amazônia Oriental

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



CGPE 8395